

# LAS REDES VERTICALES DE SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS. I

(THE VERTICAL SAFETY OF SECURITY IN THE STRUCTURE BUILDING. I)

Ramón Irles Más, Dr. Ing. Caminos, C. y P., Antonio González Sánchez, Dr. Arquitecto  
Enrique Segovia Eulogio, Ing. Industrial  
Antonio Maciá Mateu, Arquitecto  
D<sup>o</sup> Ingeniería de la Construcción. Universidad de Alicante

Fecha de recepción: 9-VII-01

ESPAÑA

750-14

## RESUMEN

*Para la prevención de caídas al vacío con riesgo de heridas graves o muerte durante la construcción de edificios, en los distintos países se desarrollaron durante la 2ª mitad del s XX diversos sistemas de redes de seguridad.*

*En el sistema de redes verticales, genuino y prácticamente exclusivo de España, se han registrado, al igual que en el resto de sistemas, varios accidentes graves y mortales que han conducido a mejoras en ellos.*

*En la primera parte de este artículo se analiza el funcionamiento del sistema español de redes verticales a la luz de algunos ensayos previos y de un modelo matemático simplificado, que permiten apreciar algunos defectos de diseño y establecer su corrección cualitativa.*

*En una segunda parte se expondrán los resultados de otra serie de ensayos dinámicos con lanzamiento de lastre sobre prototipos instrumentados y las conclusiones de un modelo numérico más complejo y ajustado a la realidad.*

## SUMMARY

*In the different countries, various safety net systems were developed in the last half century to avoid accidental falls during structure building.*

*The vertical safety net system genuine from Spain, as well as the other systems, have suffered some serious and fatal accidents, that led to improvements in their design.*

*In the first part of this paper, the behaviour of the spanish vertical safety net system is analyzed in the light of some previous experiments and a simplified mathematical model, that allow to assess some design defects and to set up their qualitative correction.*

*In a second part, the results of other dynamic experiments with weight fall over instrumented prototypes and the conclusions of another more complex and adjusted numerical model will be focused.*

## 1.- INTRODUCCIÓN

Dentro de las actividades humanas productivas, la industria de la construcción de edificios ha sido y sigue siendo, por desgracia, una de las que más accidentes graves ha generado en las personas.

El riesgo de caídas desde considerable altura por parte de los operarios que intervienen en los distintos procesos

constructivos y en las distintas etapas de la construcción de una edificación o de una obra pública es desgraciadamente bastante habitual en nuestro país, ocasionando, en muchos casos, la muerte o graves minusvalías a las personas que las han sufrido.

Fue a finales del siglo XIX y a principios del XX, cuando la sociedad tomó conciencia de la importancia de los riesgos laborales y de su prevención. En España el *Reglamen-*

to *General de Seguridad e Higiene en el Trabajo* de 1940 (1) estuvo vigente más de 30 años, siendo en muchas cosas pionero en la cuestión de la prevención. Fue ya en la segunda mitad del siglo XX, cuando se generalizó e intensificó la prevención de riesgos laborales.

El presente artículo se centrará en el estudio de las posibles caídas de altura por parte de operarios durante la construcción de una edificación, y, más concretamente, en el estudio de uno de los dispositivos más habituales desarrollados y utilizados en España, como son las redes verticales anticaída con los soportes metálicos tipo «horca» que se utilizan para su sustentación.

En España, la inmensa mayoría de las obras de edificación adoptan el sistema de redes de seguridad verticales, sujetas directamente a los forjados y suspendidas por cuerdas y soportes metálicos. Cabe indicar que este sistema es desconocido en el resto de los países de nuestro entorno.

El soporte metálico, u horca, está formado por un perfil rectangular hueco y la red, casi siempre, es de un material plástico con cuerdas perimetrales y de atado. Este sistema está pensado inicialmente para ser capaz de recoger caídas accidentales desde uno o dos forjado más arriba del anclaje inferior de la red (unos 4 ó 7 metros de caída libre, respectivamente).

Sin embargo, desgraciadamente, durante las últimas dos décadas se han producido varios accidentes graves, con resultado de muerte, al precipitarse una persona sobre este dispositivo, por colapso del mismo (2).

El presente artículo, es una contribución original al estudio del comportamiento y diseño de este sistema genuino español de redes verticales de seguridad, que, por su naturaleza, es una estructura muy esbelta y deformable, sometida a cargas de impacto cuando ha de cumplir su misión.

## 2.- ANTECEDENTES. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 2.1. Legislación

Como ya se ha mencionado en el punto anterior, ha sido en los últimos 50 años cuando los estados han generalizado e intensificado las medidas de prevención de riesgos laborales. En España durante más de 20 años han estado vigentes la *Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica* (3) y la *Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo* (4). En estas ordenanzas se hacían referencias generales a los sistemas de protección frente a caídas de altura pero eran insuficientes para regular adecuadamente los dispositivos anticaídas, y estuvieron vigentes hasta la *Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales* (5); ninguna, de todas ellas, contenía indicaciones precisas sobre las características y criterios de diseño de las redes de seguridad.

En el año 1980, la Norma *UNE 81 650 80* sobre Redes de Seguridad (6) ya contenía disposiciones sobre la colocación de redes horizontales, definiciones y requisitos mecánicos mínimos sobre la propia red, pudiéndose destacar la resistencia sin rotura de cuatro impactos de una masa de ensayo de 90 kg en caída libre desde una altura de 6 metros. Ésta es la primera referencia de la Normativa Española a la energía mínima de rotura de la red, un parámetro fundamental para el diseño de todo el sistema.

Más recientemente, la Norma *UNE EN 1263, partes 1 y 2, (7) y (8)* respectivamente, incluye el sistema de redes verticales con soportes tipo horca, estableciendo una serie de disposiciones que se pueden considerar como definitivas, si bien es mucho más precisa para la parte textil (red) que para sus soportes.

### 2.2. Estudios específicos

Las publicaciones sobre estudios específicos, ya sean teóricos o experimentales sobre dispositivos de seguridad, son escasos. Las razones principales son que de estos estudios se han realizado pocos ensayos, y algunos permanecen como informes internos de los organismos nacionales que los han realizado.

El primer estudio notable relativo a especificaciones de diseño y colocación de redes de seguridad que se realizó en el mundo se debe al alemán Spieker (9). Este estudio realizó el lanzamiento de varios lastres sobre redes de materiales plásticos y de cáñamo, sobre paños cuadrados sujetos en las cuatro esquinas de la cuerda perimetral. El sistema utilizado es diferente del actual, pero muchas de sus conclusiones fueron muy acertadas. Otros estudios similares se desarrollaron en los años 70.

Otros investigadores, en los años ochenta, estudiaron la cuestión del envejecimiento de las redes de seguridad, entre ellos Lawrenz (10) y Saiz (2), con conclusiones definitivas.

En 1983 el francés Pierlet (11), observó que los elementos de sujeción resultaban casi siempre demasiado rígidos y planificó una serie de ensayos y estudios teóricos conducentes a determinar el comportamiento y funcionamiento del conjunto red-soporte. También cabe destacar los trabajos en la misma línea de Paureau (12).

En España, a finales de los años ochenta, se empezaron a planificar y ejecutar ensayos con lanzamiento de lastre por parte de un pequeño grupo de investigadores a iniciativa de J. Saiz, técnico del Gabinete de Seguridad e Higiene de Alicante. Estos ensayos pusieron de manifiesto graves deficiencias, tanto en las redes como en los soportes tipo horca, que explicaron algunos de los graves accidentes ocurridos hasta entonces en este sistema. También cabe citar los trabajos realizados en Sevilla por Arias y otros (13), sobre durabilidad de la red.

Los resultados que se recogen en los puntos siguientes del presente artículo, son el resultado de ensayos y modelos matemáticos realizados por los autores a partir del año 1992 hasta ahora.

### 3.- LAS REDES DE SEGURIDAD VERTICALES (TIPO V, SEGÚN UNE EN 1263-1)

#### 3.1. Normativa

Como ya se ha mencionado anteriormente, el sistema español de redes verticales de seguridad, tipo horca, utilizadas en las fachadas de edificación está recogido en la reciente normativa europea sobre redes de seguridad en general, que refunde las anteriores normas de diversos estados europeos.

La Normativa hace referencia en especial a las características de las redes verticales, no definiendo tan claramente los requisitos que deben reunir los soportes así como los criterios para su diseño, habiéndose constatado la insuficiencia de los perfiles habituales.

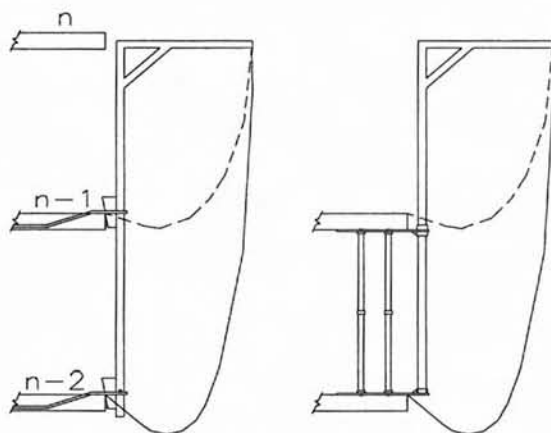


Figura 1.- El sistema de redes verticales de seguridad.

#### 3.2. Descripción

El sistema de redes verticales de seguridad con soportes tipo horca (Tipo V según UNE EN 1263-1) se utiliza en general en las obras de edificación hasta que es posible disponer otro tipo de protección de borde como las barandillas, afectando a la organización y ejecución del próximo forjado "n" y anclándose a los dos últimos ejecutados "n-1" y "n-2", según figura 1.

Los soportes se sujetan a ellos normalmente mediante pasador y cuñas en unas horquillas de acero de armar, que, en su día, se dejaron hormigonadas al forjado, como se aprecia en la figura 2.

Las redes utilizadas suelen ser de 100 mm de anchura de malla, fabricadas frecuentemente con poliamida de alta tenacidad.

Los soportes, en la mayoría de las ocasiones, están hechos con perfiles rectangulares huecos de acero A37 o A 42 (según NBE EA 95) con relación de lados próxima a 2 y eje de flexión fuerte de su tramo vertical paralelo al plano de la fachada, según figura 3.

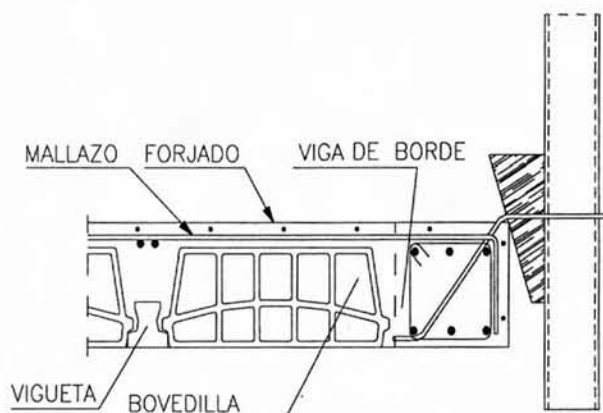


Figura 2.- Varillas de anclaje al forjado.

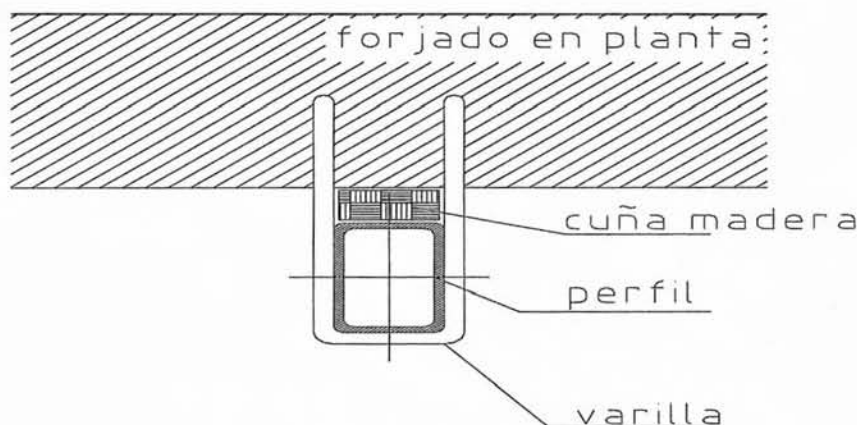


Figura 3.- Sección transversal habitual del soporte de la red.

Esta disposición de los perfiles es conceptualmente incorrecta como se verá en los siguientes puntos, y es responsable de una parte importante de las roturas observadas en accidentes y ensayos.

Los soportes miden en su tramo vertical unos 8 metros y en el horizontal unos 2 metros. Para su manejo y almacenamiento, el tramo vertical se diseña en dos tramos a su vez, que se empalman a la altura del forjado intermedio. El diseño descuidado de este empalme, que se sitúa en la zona de mayores esfuerzos, es el responsable de otra gran parte de las roturas observadas.

### 3.3.- Funcionamiento

Desde el punto de vista mecánico-estructural, el funcionamiento de este sistema de seguridad consiste en la absorción de la energía cinética adquirida por el cuerpo que cae, en condiciones tales que los esfuerzos máximo generados sobre éste durante el proceso no le produzcan daños graves, por una parte; y, por otra, que los generados sobre el propio dispositivo no produzcan la rotura del sistema de recogida, que en tal caso no evitaría una mayor caída y no cumpliría su misión.

La energía cinética a absorber queda establecida por la UNE EN 1263.1 en 7 Kilojulios (7Kj), lo que corresponde a la energía potencial de una masa de 100 kg con una altura de caída de unos 7 metros (dos forjados de 3 metros más 1 metro hasta el cdg del operario). En caída libre, un cuerpo tarda aproximadamente 1'20 segundos en recorrer estos 7 metros de altura, y en el momento del impacto lleva una velocidad de unos 11'80 m/seg lo que equivale a unos 42'2 km/h.

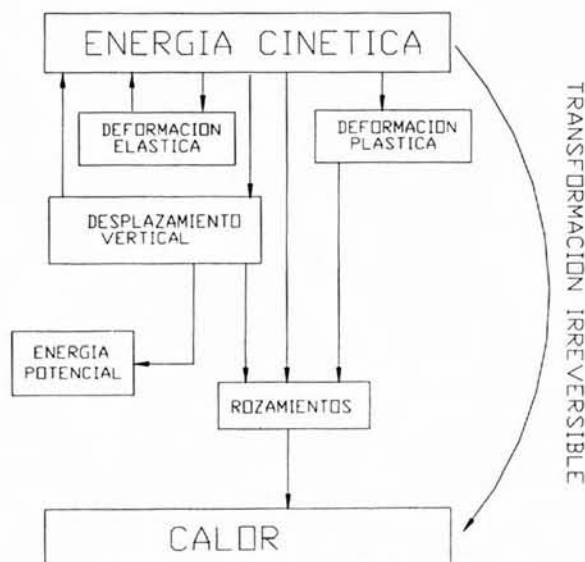


Figura 4.- Esquema de transformaciones energéticas.

Se trata de un impacto muy pequeño si se compara con otros tipos de impacto como son la colisión de vehículos en carretera, con energías del orden de 1.000 Kj o de ferrocarriles, del orden de 300.000 Kj.

Por otra parte, los esfuerzos máximos quedan determinados sobre el peso estático del cuerpo, de aproximadamente 100 kg, por un factor de impacto que depende de la rigidez del dispositivo y que debe dejar dichos valores máximos por debajo de los estimados como resistibles por el cuerpo humano, que se cifran en unos 1.700 daN en las Recomendaciones del Comité Technique National des Industries du Bâtiment et des Travaux Publics (14) para redes horizontales, que son normalmente más rígidas que las verticales.

La transformación de la energía cinética tiene lugar conforme al esquema de la figura 4, donde toda la energía se transforma en último término en calor disipado; la mayor parte a través de la deformación plástica de la red y de los soportes metálicos.

## 4.- MODELO MATEMÁTICO SIMPLIFICADO

A efectos de un análisis teórico, el modelo matemático de comportamiento del modelo es complejo, pues, en la realidad, la red y los soportes, en menor medida, sufren cambios importantes de su geometría durante el proceso, constituyendo un problema de grandes movimientos y giros, con rigidez variable debido a la rigidización por tensión en la red; para terminar de complicar el estudio teórico del fenómeno, las fuerzas entre el cuerpo y la red van variando su punto de transmisión a lo largo del proceso.

### 4.1.- Factor de Impacto

El concepto de factor de impacto o de ampliación es utilizado en el diseño de estructuras sometidas a cargas dinámicas y representa el cociente entre el valor máximo de una magnitud durante el fenómeno transitorio y el que debería tomar la misma en un proceso cuasi estático.

En un sistema elástico de un solo grado de libertad (resorte) con masa propia despreciable frente a la que produce el impacto sobre él a una velocidad conocida, dicho factor de impacto es el mismo para todas las magnitudes estáticas y cinemáticas implicadas, y su evaluación es relativamente simple. Así, puede hacerse una estimación del fenómeno de impacto cualitativamente, útil para el diseño del dispositivo que nos ocupa.

Cuando un cuerpo cae sobre la red, tensa a ésta y carga sobre la misma y sobre los soportes, produciéndose una deceleración del cuerpo desde la velocidad que ha adquirido en la caída hasta una velocidad nula en el instante de máxima flecha en la red. Esta deceleración determina los

máximos esfuerzos sobre el cuerpo y sobre el dispositivo de seguridad, y está directamente relacionada con el descenso o carrera experimentado desde el tensado de la red hasta el instante de velocidad nula.

Su valor debe ser lo suficientemente bajo para no superar las fuerzas indicadas en el apartado 3.3, que se corresponden con un factor de impacto del orden de 17.

Una primera estimación elástica de dicho factor puede hacerse como sigue. Consideremos un modelo mecánico constituido por la masa "m", de peso "p=m.g", que ha adquirido en su caída una velocidad "v", e idealicemos en un resorte elástico de rigidez "k" el conjunto red-soporte-anclajes, como se indica en la figura 5.

Sea "h" la carrera que experimenta la masa "m" durante la deceleración. La conservación de energía requiere que:

$$E_v + E_h = E_k$$

siendo:  $E_v$  = Energía cinética perdida.  
 $E_h$  = Energía potencial perdida en la carrera "h".  
 $E_k$  = Energía elástica ganada y acumulada en el resorte.

Por tanto:

$$\frac{m.v^2}{2} + m.g.h = \int_0^h F.dx = \int_0^h k.x.dx = k \cdot \frac{h^2}{2} = \frac{k^2.h^2}{2.k} = \frac{F_{m\acute{a}x}^2}{2.k}$$

operando se tiene:

$$F_{m\acute{a}x}^2 - 2.m.g.k.h - k.m.v^2 = F_{m\acute{a}x}^2 - 2.p.F_{m\acute{a}x} - k.m.v^2 = 0$$

de la cual se obtiene el esfuerzo máximo en el resorte  $F_{m\acute{a}x} = kh$ :

$$F_{m\acute{a}x} = p + \sqrt{p^2 + k.m.v^2} = p \cdot \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{k.v^2}{p.g}} \right) = p.\gamma$$

y queda definido el factor de impacto por:

$$\gamma = 1 + \sqrt{1 + \frac{k.v^2}{p.g}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2.k.H}{p}} \quad [1]$$

en cuya última expresión se ha sustituido la velocidad adquirida en una caída libre desde altura "H", sin considerar los rozamientos.

A fórmulas similares se llega, por otras vías, en lo tratados clásicos como el de Timoshenko (15).

En el sistema de red y soportes, donde los elementos considerados por ahora elásticos presentan dos ramas, el alar-

gamiento es el doble que la carrera y el esfuerzo la mitad, aproximadamente, resultando la rigidez equivalente "k", en función de las que tengan el soporte "k<sub>s</sub>" y la red "k<sub>r</sub>", según la figura 6:

$$\Delta l_{tot} = 2.h = \Delta l_s + \Delta l_r = \frac{p/2}{k_s} + \frac{p/2}{k_r} = \frac{p.(k_r + k_s)}{2.k_r.k_s}$$

de donde:

$$p = \frac{4.k_r.k_s}{k_r + k_s} .h = k .h$$

siendo:

$$k = \frac{4.k_r.k_s}{k_r + k_s} \quad [2]$$

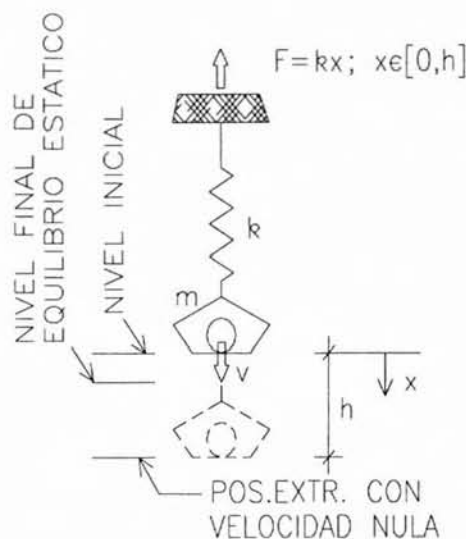


Figura 5.- Modelo mecánico elástico simplificado.

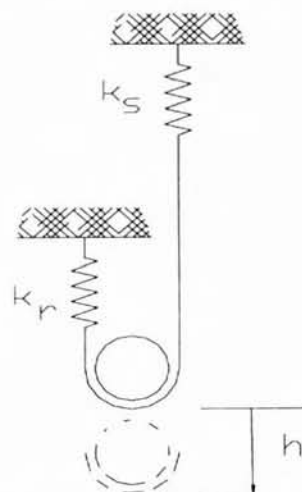


Figura 6.- Esquema para la asimilación a un resorte simple.

La evaluación de la rigidez del soporte "k<sub>s</sub>", es un ejercicio simple de Resistencia de Materiales (ver figura 7), obteniéndose, sin considerar el pequeño efecto de rigidización del jабalcón:

$$k_s = \frac{3.E.I}{b^2.(a_1 + 3a_2 + b)}$$

La cuantificación de la segunda rigidez, la de la red, es mucho más compleja. No obstante, por las características mecánicas del textil siempre será menor que la del soporte, y se puede estimar en que "k<sub>r</sub>" es, por ejemplo, la cuarta parte de la del soporte. Así, se tendría:

$$k = \frac{\frac{4}{4}.k_s^2}{\frac{1}{4}.k_s + k_s} = \frac{4}{5}.k_s = \frac{12.E.I}{5.b^2.(a_1 + 3a_2 + b)}$$

Introduciendo este valor en la ecuación [1], queda expresada una estimación del factor de impacto en función de la altura de caída "H", y de factores conocidos para un soporte dado, cuya variación se representa en la figura 8 para el caso de un perfil 80.80.4 mm de acero, que es más rígido que los puestos habitualmente, los cuales resultan insuficientes.

Los valores de γ<sub>4</sub> ≈ 8.5 y γ<sub>7</sub> ≈ 11 corresponden a caídas desde 4 y 7 metros (primer y segundo forjado, respectivamente) e indican el orden de magnitud de dicho factor de impacto para estos casos.

**4.2.- Configuración de los esfuerzos estáticos**

Al contrario de lo que a primera vista pueda parecer, y sin duda inspiró la disposición poco meditada del eje de inercia fuerte del perfil rectangular vertical paralelo al plano de la fachada, la flexión en dicho eje no es el esfuerzo prioritario a la hora de agotar la resistencia del perfil.

Salvo disposiciones de simetría como la del soporte M5 de la figura 10, son los esfuerzos de torsión y flexión (sobre todo la de eje débil en su disposición habitual) los que gobiernan la resistencia del soporte.

Por otra parte, la gran esbeltez que las dimensiones requeridas confieren al tramo exento (a<sub>2</sub> ≈ 4.5 m) hace que la sollicitación de axil de compresión, que con otra esbeltez sería irrelevante frente a la flexión, gane importancia, desencadenando fenómenos de segundo orden de inevitable consideración.

En la figura 9 se recogen los diagramas de esfuerzos internos estáticos completos generados en el soporte, pres-

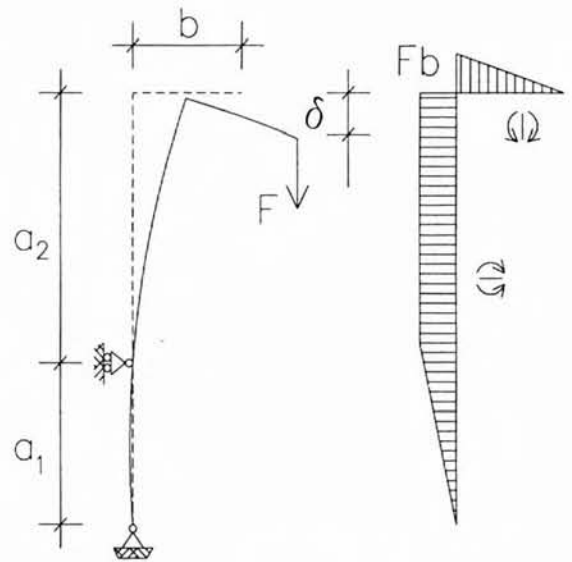


Figura 7.- Evaluación de la rigidez de los soportes.

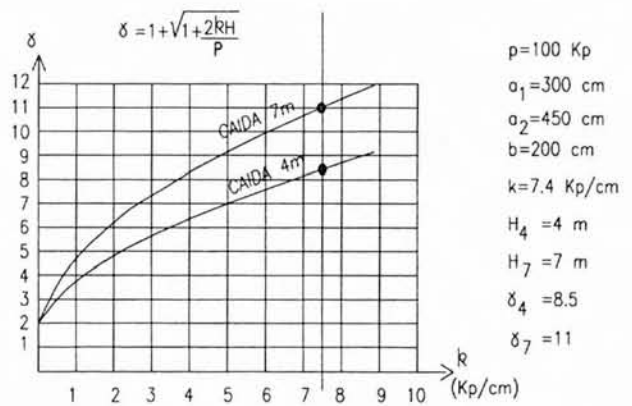


Figura 8.- Variación del factor de impacto con la rigidez del sistema.

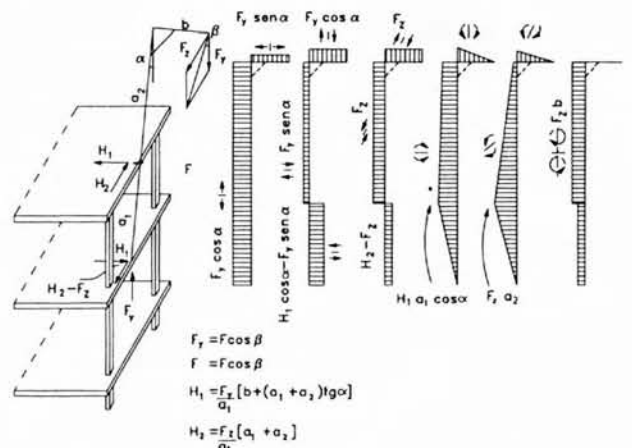


Figura 9.- Esfuerzos estáticos en el soporte.

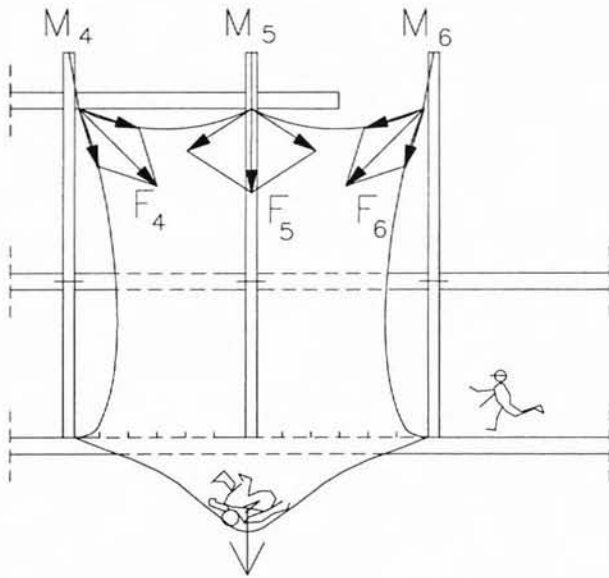


Figura 10.- Resultante de fuerzas en una caída a plano medio de soporte.

cindiendo de la colaboración del jabalcón. Los debidos a la componente transversal  $F_z$  dependen del ángulo “ $\beta$ ”, cuya estimación a efectos de un diseño inicial simplificado, y basándonos en ensayos previos, puede estimarse en valores de hasta 20 a 30°, según la caída.

En esta misma figura, se puede apreciar que los valores máximos de todos los esfuerzos, inclusive los de segundo orden, concurren en el apoyo superior, que es donde habitualmente se localiza el empalme de los perfiles, resultando este empalme de una responsabilidad no bien valorada en el diseño tradicional, y que ha causado un gran número de fallos observados.

Conclusiones sin utilidad cuantitativa pero sí cualitativa se pueden extraer del siguiente ejemplo, que ilustra las valoraciones hechas en los párrafos anteriores según un diseño elástico-estático habitual.

**Ejemplo:**

Supongamos que la caída ocurre junto a un soporte (figura 10); el mismo soportará la mitad de la carga, siendo el anclaje inferior de la red el que soporta el resto. Con  $\beta=0$  y  $\alpha=0$ , se tendrán los siguientes esfuerzos:

- $F_y=50$  Kp.
- $F_z=0$
- $H_1=50 \times 2/3=33$  Kp.
- $H_2=0$
- $N=50$  Kp
- $Q_M=33$  Kp.
- $Q_m=0$
- $M_M=33 \times 3=100$  mKp = 10000 cmKp
- $M_m=0$
- $M_i=0$

El único esfuerzo digno de consideración en este caso es la flexión del eje mayor; para un perfil de acero A42b, y

considerando un coeficiente de impacto del orden de 4 y un coeficiente de mayoración de cargas de 1.5, el módulo resistente necesario será:

$$W = \frac{\gamma \cdot M_M}{\sigma_e} = \frac{4 \cdot 1.5 \cdot 10000}{2600} = 23 \text{ cm}^2$$

Se necesitaría un # 80-80-4 o bien un #100-50-4.

Sin embargo, si la caída se produce entre dos soportes (figura 11), los 50 Kp que le tocan a los soportes se repartirán de manera similar con una componente vertical de 25 Kp cada uno. Pero en este caso el ángulo “ $\beta$ ” tiene un valor de unos 30°; las solicitaciones serían en este caso las siguientes:

- $F_y=25$  Kp.
- $F_z=14$  Kp.
- $H_1=25 \times 2/3=17$  Kp.
- $H_2=14 \times 7,5/3=35$  Kp
- $N=25$  Kp
- $Q_M=17$  Kp.
- $Q_m=35 - 14 = 21$  Kp
- $M_M=17 \times 3=50$  mKp = 5.000 cmKp
- $M_m=14 \times 4,5=63$  mKp = 6.300 cmKp
- $M_i=14 \times 2 = 28$  mKp = 2.800 cmKp

Con el perfil de # 80-80-4 la torsión ya produce tensiones apreciables:

$$\tau = \frac{4 \cdot 1.5 \cdot 2800}{2.0 \cdot 4 \cdot 7.6^2} = 364 \text{ Kp / cm}^2$$

y la flexión, ahora esviada:

$$\sigma = \frac{4 \cdot 1.5 \cdot 5000}{27.2} + \frac{4 \cdot 1.5 \cdot 6300}{27.2} = 2493 \text{ Kp / cm}^2$$

la tensión de comparación de Von Mises:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{2493^2 + 3 \times 364^2} = 2571 \text{ Kp / cm}^2$$

admisible, aunque muy cerca del límite 2600 (acero A42), como se puede apreciar.

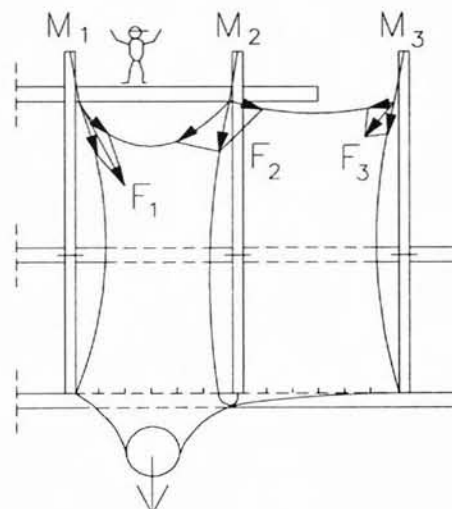


Figura 11.- Resultante de fuerzas en una caída a centro de paño.

Pero con el perfil #100-50-4:

$$\tau = \frac{4 \cdot 1'5 \cdot 2800}{2 \cdot 0'4 \cdot 9'6 \cdot 4'6} = 476 \text{ Kp / cm}^2$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot 1'5 \cdot 5000}{26'1} + \frac{4 \cdot 1'5 \cdot 6300}{176} = 1149 + 2148 = 3297 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 3399 > 2600 \text{ Kp / cm}^2$$

por tanto no admisible.

Por otra parte, la esbeltez del tramo "a<sub>2</sub>" en el primer caso resulta de 294, valor excesivo para elementos de responsabilidad; pero para el segundo caso asciende a 445, absolutamente fuera del campo de aplicación del procedimiento simplificado de los coeficientes de pandeo utilizado por la norma española NBE EA 95.

## 5.- EFECTOS DEL DISEÑO PLÁSTICO SOBRE EL FACTOR DE IMPACTO

Las anteriores consideraciones, realizadas con base en un diseño elástico, como preconizaba Bellmunt (16), y a pesar de las imprecisiones de los valores obtenidos en los ejemplos, ponen de manifiesto la insuficiencia del perfil 80x80x4, perfil de mayor sección que los que habitualmente se ponen en las obras. Dentro del régimen elástico, el coeficiente de impacto es bastante mayor que 4, y será aún mayor cuanto más rígido sea el perfil, debiéndose precisar que, en régimen elastoplástico, el coeficiente de impacto deja de ser único.

Esta situación es típica de los problemas de absorción de energía por impactos. La capacidad de absorción de energía por deformación plástica de los metales ofrece ventajas sobre su capacidad en régimen elástico y, aunque en este caso no sería imprescindible (por la presencia de la red), el considerar el comportamiento plástico del soporte permite aligerar los soportes y aliviar todos los esfuerzos desencadenados, al disminuir el factor de impacto.

Una vez agotado un perfil dado a flexotorsión en el punto de peores esfuerzos, la energía absorbida E depende de los giros experimentados por la rótula plástica, que se puede expresar para un momento de plastificación M<sub>p</sub> dado y para un giro θ<sub>p</sub> como sigue:

$$E = M_p \cdot \theta_p$$

Este planteamiento es interesante para el caso que nos ocupa, pues permite absorber una gran cantidad de energía si se tolera la plastificación del soporte, siempre y cuando no se produzca la rotura de éste, ni una flecha excesiva en la red.

El mayor problema para realizar un estudio plástico simplificado del dispositivo que nos ocupa es la determinación de las fracciones de energía que absorben la parte textil (red y cuerdas de sujeción), y la parte metálica (soportes y apoyos).

## 6.- CONCLUSIONES INICIALES SOBRE EL DISEÑO

De todo lo expuesto en los apartados anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

A) El planteamiento de un diseño en régimen elástico para soportes de redes de seguridad conduce a factores de impacto del orden de 10 unidades, lo cual, si bien puede resultar admisible desde el punto de vista de los esfuerzos producidos al accidentado, encarece y complica el sistema al sobredimensionar los soportes metálicos.

B) Independientemente del criterio de diseño elástico o plástico, la elección de perfiles con radios de giro principales a flexión apreciablemente distintos resulta inadecuada, debido al agotamiento prematuro que esto ocasiona.

C) El empalme de los tramos que habitualmente se realiza en la zona de mayores solicitaciones debe cuidarse muy especialmente, ya que compromete la integridad del conjunto.

D) El planteamiento de un estudio en régimen elastoplástico permite reducir, por una parte, los esfuerzos máximos generados por el impacto y, por tanto, el riesgo de lesiones graves; y por otra parte el coste de los soportes.

Las contrapartidas a estas posturas son:

1) La puesta fuera de servicio de algún soporte en caso de accidente, ventajosamente asumible dada su baja probabilidad de ocurrencia esperada.

2) La complicación de las comprobaciones de diseño, que con los recursos actuales no debería suponer un inconveniente serio a las ventajas anteriores.

De estas conclusiones iniciales surgen claramente los pasos a seguir:

1) La realización de ensayos con instrumentación del dispositivo de seguridad, para confirmar y precisar las conclusiones del modelo simplificado y la calibración del modelo matemático.

2) Desarrollar un modelo numérico que incorpore los aspectos más importantes del comportamiento del sistema y sea capaz de convertirse en herramienta de diseño. Todo



esto permitirá realizar un diseño seguro y ajustado para el sistema de redes verticales y, seguramente, para otros sistemas de redes de seguridad.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Ministerio de Trabajo: Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Boletín Oficial del Estado nº 34 (España), 1940
- (2) Saiz, J., Irlles, R., Arcenegui, G.A., Naharro, M.: Las Redes de Seguridad en la Construcción. Univ. de Alicante - D. G. T. (Generalitat Valenciana), Alicante (España), 1997
- (3) Ministerio de Trabajo: Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica. Boletín Oficial del Estado nº 216 (España), 1970
- (4) Ministerio de Trabajo: Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Boletín Oficial del Estado nº 64 y 65 (España), 1971
- (5) Cortes Generales: Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado nº 269 (España), 1995
- (6) Agencia Española de Normalización (AENOR). UNE 81.650.80: Redes de Seguridad. Características y ensayos. Agencia Española de Normalización (AENOR) (España), 1980
- (7) AENOR-CEN. UNE-EN 1263: Redes de Seguridad. Parte 1: Requisitos de seguridad, métodos de ensayo. Asociación Española de Normalización (AENOR) (España), 1997
- (8) AENOR-CEN. UNE-EN 1263: Redes de Seguridad. Parte 2: Requisitos de seguridad para la instalación de redes de seguridad. Asociación Española de Normalización (AENOR) (España), 1998
- (9) Spieker, W.: Versuche mit schutznetzen. Zeitschr. Berufsgenoss, 1960, 4, S4/7, 1960
- (10) Lawrenz, M.: Mindestanforderungen an Auffangnetze bei Bauarbeiten. Arbeitssicherheit, 1980
- (11) Pierlet, J. H.: Status of safety net standards for construction and research needs. Report NBSIR 83-2709, 1983
- (12) Paureau, J., Parisot, E., Schuler, B.: Filets en grandes nappes. Efficacité, performances, règles de pose. Cahiers de Notes Document., nº 137 (INRS), pp. 655-675, París (Francia), 1989
- (13) Arias Lázaro, J. I.: Redes de protección. Salud y Trabajo, nº 62-63, pp. 69-73, (España), 1987.
- (14) Comité Technique National des Industries du Bâtiment et des Travaux Publics.: Recommandation R305. Travail et Sécurité, nº 6, 1988
- (15) Timoshenko, S.: Resistencia de Materiales. Espasa Calpe, Madrid (España), 1984
- (16) Bellmunt, J. J.: Redes de Seguridad. Notas técnicas de prevención, NTP-24 (INSHT), pp. 1-8, (España), 1985

\* \* \*